



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

### **TREBALL FINAL DE GRAU**

---

# **MESURA DE L'ÍNDEX D'ENLLUERNAMENT UNIFICAT DE LA CIE (UGR) EN LES AULES DE LA FOOT**

**LAIA TEIXIDÓ BLANCH**

**DIRECTOR:  
JOSÉ LUIS ALVAREZ MUOZ  
DEPARTAMENT D'ÓPTICA I OPTOMETRIA**

12 de Maig de 2016



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. JOSÉ LUIS ALVAREZ, com a director/a del treball

CERTIFICA

Que la Sra. LAIA TEIXIDÓ BLANCH ha realitzat sota la seva supervisió el treball MESURA DE L'INDEX D'ENLLUERNAMENT UNIFICAT DE LA CIE (UGR) EN LES AULES DE LA FOOT que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo aquest certificat.

Sr. JOSÉ LUIS ALVAREZ MUÑOZ  
Director del treball

Terrassa 12de Maig de 2016



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

# MESURA DE L'ÍNDEX D'ENLLUERNAMENT UNIFICAT DE LA CIE (UGR) EN LES AULES DE LA FOOT

## RESUM

**OBJECTIU:** Mesura de l'índex d'enlluernament unificat de la CIE (UGR) en les aules de la FOOT.

**MÈTODE:** A l'estudi s'ha fet uns càlculs dels angles sòlids a partir d'obtenció d'imatges amb la càmera del mòbil. S'han fet mesures i preses de fotos de quatre aules de la FOOT. Amb les mides obtingudes hem pogut obtenir l'índex de posició de Guth. Amb les fotos obtingudes vam aïllar les lluminàries amb binarització. Amb posterioritat, un cop obtingut el que ocupa cada píxel de les lluminàries, s'ha pogut aconseguir el valor de l'angle sòlid.

**RESULTATS:** Amb tots els resultats anteriors podrem s'obtindrà l'índex d'enlluernament unificat (UGR) de les quatre aules de la FOOT. Si examinem aquets resultats podem concloure que les aules amb valors alts són: l'aula 1.1 amb un UGR de 22.48 i l'aula d'audicions amb un UGR de 22.47. En cas contrari, ens trobem que les aules amb l'índex més baixos són: l'aula 2.2 amb un UGR de 19.82 i l'aula d'informàtica amb un UGR de 11.31.

**CONCLUSIONS:** Els resultats mostren que l'aula d'informàtica és l'única que compleix la normativa de la CIE. Encara que l'aula 2.2 és sobrepassa una mica del valor recomanat, es pot considera que compleix la normativa. En canvi trobem que l'aula 1.1 i l'aula d'audicions es passen el valor aconsellat per la CIE.



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

# MESURA DE L'INDEX D'ENLLUERNAMENT UNIFICAT DE LA CIE (UGR) EN LES AULES DE LA FOOT

## RESUMEN

**OBJETIVO:** Medida del índice de deslumbramiento unificado de la CIE (UGR) en las aulas de la FOOT.

**MÉTODO:** Al estudio se ha hecho unos cálculos de los ángulos solidos a partir de la obtención de imágenes con la càmera del móvil. Se han hecho medidas y preses de fotografías de cuatro aules de la FOOT. Con las medidas obtenidas hemos podido obtener el índice de posición de Guth. Con las fotos obtenidas aislamos las luminarias con binarizacion. Con posterioridad, una vez obtenido el que ocupa cada píxels de las luminarias, se ha podido aconseguir el valor del ángulo solido.

**RESULTADOS:** Con todos los resultados anteriores podemos obtener el índice de deslumbramiento unificado (UGR) de las cuatro aulas de la FOOT. Si examinamos estos resultados podemos concluir que las aulas con valores altos son: el aula 1.1 con UGR de 22.48 y el aula de audiciones con UGR de 22.47. En caso contrario, nos encontramos que las aulas con el índice más bajos son: la aula 2.2 con UGR de 19.82 y el aula de informática con UGR de 11.31.

**CONCLUSIONES:** Los resultados muestran que el aula de informàtica es la única que cumple la normativa de la CIE. Aunque el aula 2.32 se sobrepasa un poco del valor recomendado, se puede considerar que cumple la normativa. En cambio encontramos que el aula 1.1 y el aula de audiciones passan el valor aconsejado por la CIE.



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

# MESURA DE L'INDEX D'ENLLUERNAMENT UNIFICAT DE LA CIE (UGR) EN LES AULES DE LA FOOT

### ABSTRACT

**PURPOSE:** Measuring the unified glare rate of CIE (UGR) in the FOOT's classrooms.

**METHODS:** In the study, we made calculations of solid angles from the images obtained by the camera phone. We made measurements and took photos from four classrooms of the FOOT and with the measures, we would know Guthposition index. With the photos taken previously, we were able to treat them to isolate the luminaries with binarization. When how much each pixel of the luminaries occupied was known, we finally could find the solid angle.

**RESULTS:** With all the previous results we could obtain the unified glare rate (UGR) of the four classrooms of the FOOT. Taking a look at these results, we can see that the classrooms with high values are: the classroom 1.1 with an UGR of 22.48 and the auditions classroom with an UGR of 22.47. Classrooms with lower rates are the classroom 2.2 with an UGR of 19.82 and the computer room with an UGR of 11.31.

**CONCLUSION:** The results show that the computer room is the only one that compiles the CIE regulations. Even though the classroom 2.2 exceeds a little bit the recommended value, it can be considered that compiles the regulations. However we find that the classroom 1.1 and the auditions classroom exceed the recommended value by the CIE.

## INTRODUCTION

Glare can be defined as a set of effects produced by excessive amount of light for the visual receptor system in a specific circumstance. We can say that there are two types of glare; annoying or indirect glare and direct glare.

The first one is the glare that distract us when manifested because interferes with the visual system, but as we don't notice it, we don't move away and we continue to accumulate it without thinking that it causes vision problems. In the second type, the light goes directly into the eyes, therefore is the glare that causes difficulty in performing a visual task.

How do we know if we have the correct luminaries or a correct indirect glare? In this case we would have to calculate the unified glare rate (UGR). UGR is the method that takes into account the potential glare of all the luminaries located within the visual field of an observer. For example, according to the regulations of the International Commission of Illumination (CIE), in schools they should have results with a value of 19.

## PURPOSE

The general objective of this project is to develop a working routine to calculate what level of indirect glare is in a determined place by applying the Unified Glare Rate (UGR) formula defined by the International Commission on Illumination (CIE).

As specific objectives we set the following:

- To calibrate the camera phone with which we are going to take photographs of the local luminaries.
- To calculate the solid angle of the luminaries of the local through the processing of the photographs taken with the camera phone.
- To obtain the Unified Glare Rate (UGR) of the local through the solid angles of the luminaries, the measures of its luminance and its eccentricity, as well as the measure of the background luminance.
- To apply this measure routine in different teaching areas of FOOT.



To check the degree of compliance with the regulations on UGR in these teaching areas.

## METHODS

First we will begin the procedure with the images calibration which were taken by the camera phone. It should be noted that the photographs in this procedure will be white rectangles with black background, which will occupy the different sizes that we will be choosing. With these photographs we will obtain the measurements to calculate the SOLID ANGLE, allowing us to see what we can do with the classrooms luminaries.

This result is not definitive, because the images have a small deviation that must be corrected with the program MATLAB ROTATION. Through this program we will place the images straight and it will allow us to know the correct amount of pixels that we will have horizontal and vertical.

Now we can set the value of the solid angle to each camera pixel. This whole process will help us later to make the matrix that will also help us to calculate the solid angle of the luminaries. In this specific case, we know that the dimensions are 2448 x 3264 pixels.

Then we have to choose which FOOT classrooms we study. The four classrooms were chosen with the idea that these are the most used by university students, as they spent many hours inside them.

The four chosen classrooms are: (i) small classroom from floor 1, in particular we choose the classroom 1.1; (ii) computer room; (iii) auditions classroom and (iv) big classroom from floor 2; classroom 2.2.

Once we have the four classrooms, we have to calculate the different distances in horizontal and vertical for each luminaries. In addition, we have to calculate the luminance of each luminaries and the pupil illumination. Finally, we will take photographs of each luminary of the classrooms. It should be noted that these two values are required for the final calculation of the UGR of the four classrooms.

A remarkable point to consider is that all measures of classrooms must be done in the same position, in our case it's at the back of the classroom, in particular in the midpoint, between the two side walls and in a height of 120 mm, because it's the considered height where are located the eyes of the students when are

sitting.

Once we have the luminaries positions measurements, we are able to calculate angles  $\alpha$  and  $\beta$ , which are necessary to know the final value of the position index of Guth. This value will help us to find the UGR of the classrooms.

The next step is to treat the images taken previously to isolate the luminaries and thus be able to convert them into black and white, i.e., binarized luminaries. This process is done with the MATLAB ROI program.

Ultimately, we get the matrix, allowing us to calculate each pixel in the situation that presents in the photographs of the luminaries treated before. Through this matrix, we can know which are the solid angles of each luminaries pixel and thus obtain all the necessary parameters to calculate UGR.

## RESULTS

In this moment, with all the results we have obtained with the earlier calculations: the luminance luminaries ( $L_{font}$ ), the luminance of the background ( $L_{fons}$ ), position index of Guth ( $P$ ) and the solid angle ( $\omega$ ), we can calculate the value of UGR of the four classrooms of the FOOT that we have previously selected.

When we have this calculation for all luminaries, we proceed to add the results. Then multiply that result by 0.25 and divide it by the background luminance ( $L_{fons}$ ).

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0.25}{L_{fons}} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{(L_{font\ i})^2 \cdot w_i}{P_i^2} \right) \right]$$

Finally, as we can see in the formula, we need the part where we have to multiply by the decimal logarithm of this latter value, and the result has to be multiplied by 8.

Specifically, we can see the result of that calculation ( $L_{font}^2 \cdot \omega_i / P^2$ ) in the table 16 of all four classrooms of FOOT.



**Table 16. Measures  $(L_{font}^2 \cdot \omega_i) / P^2$  of four classrooms.**

		Classroom 1.1	Computer room	Auditions Classroom	Classroom 2.2
<b>Back luminance</b>		37.589,40	6,98	45.833,93	2.131,11
		100.033,67	16,52	135.458,64	13.355,16
		24.981,35	16,46	48.377,99	28.841,94
		-	-	-	2.708,18
<b>Mid luminance</b>	<b>back</b>	342.953,60	3,10	55.344,70	5.468,23
		44.632,33	1,83	99.846,61	3.499,95
		29.831,90	513,82	48.978,30	11.246,60
		-	-	-	3.753,84
<b>Mid luminance</b>	<b>front</b>	-	-	-	4.310,50
		-	-	-	3.495,47
		-	-	-	3.664,19
		-	-	-	2.766,08
<b>Front luminance</b>		48.559,87	4,38	7.282,77	1.520,48
		4.583,72	3,57	10.945,01	828,26
		4.792,07	0,95	11.255,92	1.157,71
		-	-	-	1.151,73

	3.980,25	8.218,51	4.015,70	1.226,29
<b>Blackboard</b>	3.539,622	-	2.934,15	3.341,07
<b>luminance</b>	1.695,56	10.372,36	5.413,77	41.081,28
	-	-	-	3.866,24

With these measures we will sum the results:

(i) In the case of the classroom 1.1, we obtain a result of 647.173,34. With these result we can multiply by 0.25 and divide it by the luminance of the classroom, which is 250.669 lux. Once we gained these results, we can realize the decimal logarithm. Then, we have to multiply it by 8 and with this calculation we will have the final value of UGR of the classroom 1.1, which is **22.48**.

(ii) We continue with the sum of the computer room. In this class we get a result of 19.158,48, which if we follow the same procedure as before:

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0.25}{184.8852} \cdot 19.158,48 \right]$$

As we can see, this classroom will have a luminance of 184.8852 lux. With this calculation we obtain a final value of UGR of **11.31** for the computer room.

(iii) Next, we observe that the result of the sum for the auditions classroom is 470.270,72, which will be multiplied by 0.25 and divided by the luminance of this room, which will be 182.39185 lux.

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0.25}{182.39185} \cdot 470.273,72 \right]$$

With all we calculate again the logarithm and we multiply by 8 and with this calculation we have the final value of UGR that will be **22.47**.

(iv) Finally, we realize the sum of classroom 2.2, where we can see that we obtain a result of 139.414,34, which we have to multiply by 0.25 and divide it by 116.1831 lux, the classroom luminance. With all these calculations we do the logarithm and multiply it by 8. After all the calculations are done, in the classroom 2.2 we obtain a value of UGR of **19.82**.

## CONCLUSIONS

This project has met all the objectives that had been raised at the beginning:

- A work routine has been developed to calculate what level of indirect glare exists in a determined place by applying the unified glare rate (UGR) formula defined by the International Commission on Illumination (CIE).
- We have proceeded to calibrate a camera phone, which has taken photographs of the luminaries of a determined local.
- The solid angles of all luminaries of a local have been calculated from the processing of the images taken by the camera phone.
- We obtained the Unified Glare Rate (UGR) of the local from the solid angles of the luminaries, the measures of its luminance and its eccentricity as well as the measure of the background luminance.
- This measurement routine has been applied in four different classrooms of FOOT.
- Considering the maximum values of UGR recommended by the CIE, in the four studied classrooms should not exceed the valued  $UGR=19$ . Given the results, we can conclude that the computer room is the only classroom that compiles the regulations ( $UGR=11.31$ ), that in the case of the classroom 2.2, the breach is mild ( $UGR=19.82$ ), and the classrooms that breach widely the regulations are the auditions classroom ( $UGR=22.47$ ) and the classroom 1,1 ( $UGR=22.48$ ). These values could be improved if we made some change with the type of luminaries or with its distribution and orientation, or even by using protective elements to prevent direct glare.



Type of activity	UGR <sub>màx</sub>
Technical drawing	16
Reading, writing, teaching rooms, computer work, inspections	19
Jobs in industry and packaging, reception	22
Rough jobs and ladders	25
Hallways	28



## AGRAÏMENTS

M'agradaria agrair als meus pares i a la meva germana per la seva ajuda i suport incondicional.

A les meves amigues Aina i Anna per l'ajuda que en tot moment m'han prestat i els bons moments que m'han fet passar.

I sobretot moltes gràcies als directors del treball José Luis Alvarez per la seva ajuda essencial durant l'elaboració d'aquest treball. També donar les gràcies als treballadors de consergeria per la seva col·laboració a permetrem accedir a les aules de la universitat.

Gràcies a tots.

## ÍNDEX

1.- MARC TEÒRIC .....	15
1.1.-ENLLUERNAMENT.....	15
1.2.-TIPUS D' IL·LUMINACIÓ.....	16
1.2.1.- IL·LUMINACIÓ MOLEST.....	16
1.2.2.- IL·LUMINACIÓ INCAPACITANT.....	17
1.3.- METODES L'IL·LUMINANCIA.....	18
1.4.- UGR.....	21
1.5.-TIPUS DE LLUMINÀRIES .....	23
1.5.1-LLUMINÀRIA DIRECTA.....	23
1.5.2.-LLUMINÀRIA SEMI-DIRECTA.....	23
1.5.3.-LLUMINÀRIA GENERAL-DIFUSA.....	24
1.5.4.-LLUMINÀRIA SEMI-INDIRECTA.....	24
1.5.5.-LLUMINÀRIA INDIRECTA.....	25
2.- OBJECTIU .....	26
3.- MATERIAL I PROCEDIMENT.....	27
3.1.- MATERIAL.....	27
3.1.1.- FOTÒMETREMAVOLUX 5032C/B.....	27
3.1.2.- LUMINANCÍMETRECOLORÍMETRE CS-100A7.....	27
3.1.3.- NEXUS 5.....	28
3.2.- PROCEDIMENT .....	29
3.2.1.- CAPTACIÓ D'IMATGES DE RECTANGLES DE MIDES CONEGUDES, PRESENTATS EN UNA PANTALLA D'ORDENADOR.....	29
3.2.2.- ELIMINACIÓ DE LA LLEUGERA INCLINACIÓ DE LES IMATGES OBTINGUDES.....	34
3.2.3.- RELACIÓ EXISTENT ENTRE CADASCUN DELS PÍXELS DE LA CÀMERA I L'ANGLE SÒLID QUE TENEN ASSOCIAT.....	35
4.- RESULTATS .....	53
5.- CONCLUSIONS .....	56
6.- BIBLIOGRAFIA .....	58

## 1.- MARC TEÒRIC

### 1.1.. ENLLUERNAMENT

L'enlluernament podem definir-lo com el conjunt d'efectes produïts per una quantitat excessiva de llum per al sistema receptor visual en unes circumstàncies concretes. Una persona és pot enlluernar per una llum excessiva, que enlluernaria a qualsevol i en qualsevol situació. Però pot haver quantitats de llum que enlluernen a uns ulls si i als altres no. O pot ser que una mateixa intensitat lumínica enlluerni un ull en un moment donat, i després la mateixa llum ja no ho enlluerni. I per entendre tot això, hem de conèixer com funciona l'adaptació dels ulls a la llum hi ha la foscor. Quan hi ha poca llum al voltant, les pupil·les es dilaten, permetent que entrar la major quantitat possible de llum. Així, objectes que no veuríem amb la pupil·la petita, els arribem a veure amb la pupil·la gran. Quan hi ha molta quantitat de llum, no necessitem tanta per estimular els fotoreceptors (les cèl·lules sensibles a la llum: cons i bastons). Així que la pupil·la es tanca perquè no entrar tanta llum.

Però hi ha un altre mecanisme, d'importància semblant a la dinàmica pupil·lar. Es tracta de l'adaptació retiniana. Dèiem que els cons i els bastons són capaços de transformar l'energia lumínica (fotons) en un impuls nerviós. Ho poden fer perquè aquestes cèl·lules contenen gran quantitat de pigment fotosensible, una molècula que en rebre un fotó canvia el seu estat químic. Aquest canvi molecular condiciona una cascada d'esdeveniments cel·lulars que finalitza en la transmissió nerviosa. Que un fotó travessi un fotoreceptor no vol dir que aquest vagi a excitar-se i per tant anem a percebre l'estímul visual. Cal un nombre mínim de fotons perquè doni la casualitat que un "impacti" amb una molècula fotosensible. Per tant, per a un fotoreceptor concret, com més molècules d'aquestes tingui, més fàcil ho tindrà per detectar la llum que el travessa. Llavors tindrà més sensibilitat.

Bé, doncs resulta que la quantitat de pigment fotosensible (rodopsina, fotopsinas) no és una cosa constant, sinó que varia en funció de les condicions d'il·luminació. Si hi ha poca llum, els fotoreceptors creen més pigment, augmenta la densitat i concentració molecular per incrementar la sensibilitat, i



veure allò que minuts abans no veuríem. I a l'inrevés, amb molta llum es redueix el pigment, per disminuir la sensibilitat.

## 1.2.- TIPUS D'ENLLUERNAMENT

### 1.2.1. ENLLUERNAMENT MOLEST O INDIRECTE

L'enlluernament molest o indirecte, es un tipus d'enlluernament que serà molest o que distrau quan es manifesta. Aquest tipus interfereix a la visió però no molesta a un extrem en que no es pugui realitzar les activitats que s'està fent quan passa. Aquest enlluernament podrà tenir uns efectes sobre el sistema visual una mica perjudicials, cosa que no passa amb l'enlluernament incapacitant, ja que aquest a ser tan molest l'evitem ràpidament, com per exemple girant el cap quan ens impacta la llum. En canvi l'enlluernament molest no ens molesta amb la visualització dels objectes en que estem interessats en aquell moment, així que no fem cap moviment per evitar-lo. La conseqüència és que aquest tipus té un efecte acumulatiu, es a dir, que et pots passar dies o setmanes amb aquest enlluernament al lloc de feina o d'estudi sense que pensis en que pot fer algun mal. Quan ja portem un temps prolongat pot afectar al sistema visual amb els símptomes de picor o coïssor als ulls, envermelliment o maldecap a la zona frontal i aquests símptomes els notaríem sobretot a les últimes hores del dia.

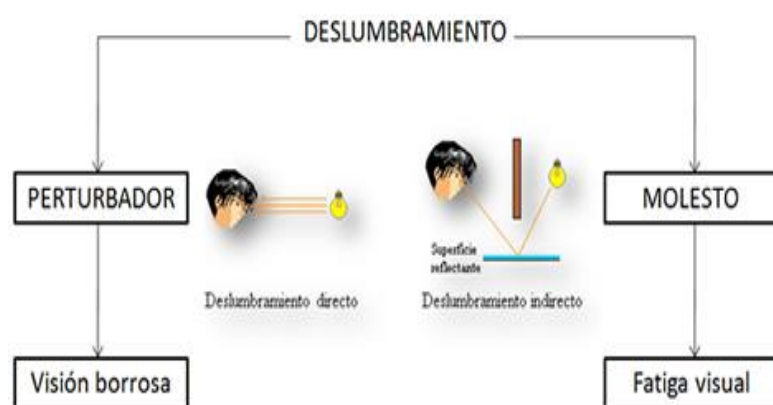


Fig. 1- Enlluernament molest i enlluernament directe (<http://es.slideshare.net/jcriverosd/ppt-iluminacin>)

Aquest tipus d'enlluernament es produeix quan hi ha un excés de llum en una zona del camp visual, però que no resulta tan molest com per adonar-se del mal que pot fer. Per exemple, el podem trobar en activitats del dia a dia que són completament normals com: les llums de les pantalles de l'ordinador, els

reflexos de les llums dels televisors o les pantalles dels mòbils. Podem notar aquest enlluernament perquè disminueix el contrast i no ens serà possible distingir els detalls amb la nitidesa que tindríem normalment.

Per evitar aquest enlluernament ja s'ha inventat pantalles antireflexants que es poden col·locar a les pantalles dels ordenadors.

### 1.2.2.- ENLLUERNAMENT INCAPACITANT

L'enlluernament incapacitant és el que causa que un tasca visual es faci difícil de realitzar, com per exemple, quan conduïm i el conductor de davant va amb les llums llargues enceses. Aquest tipus d'enlluernament comporta una necessitat d'apartar la vista immediatament. Un altre problema és la disminució immediata i brusca de contrastos, però no afectarà a l'agudesia visual de la persona.



Fig. 2- Exemple de enlluernament directe (<http://www.malayaoptical.com/new-inventions/anti-glare-solutions>)

Alguns cops aquest enlluernament és tan fort, que la tasca que es vol realitzar queda totalment paralitzada, doncs és impossible que la dugem a terme, ja que després que l'estímul hagi desaparegut durant un període de temps no és possible que tinguem cap percepció visual, aquest terme és conegut com la ceguera transitòria.

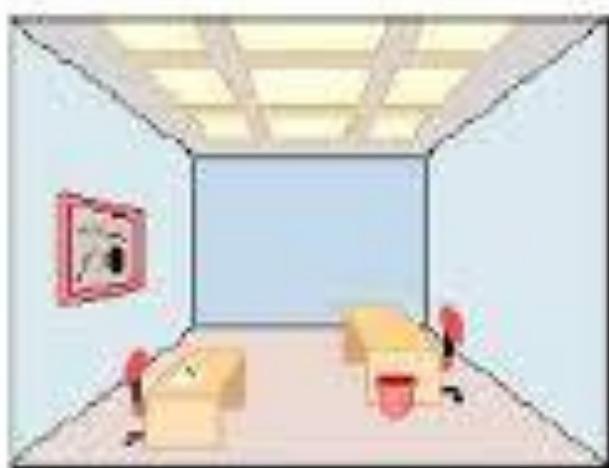
Aquest enlluernament és fisiològicament normal en totes les persones, independentment de si l'ull és no homogeni o imperfecte. En sí, el que pot variar el grau de l'enlluernament és el grau de intensitat en persones amb determinades patologies oculars o defectes refractius. Un bon exemple d'això, és el cristal·lí, que és el principal responsable de l'enlluernament d'incapacitat. En particular, amb l'edat augmenta el numero de proteïnes agrupades en el seu nucli i la lent és torna menys transparent, això fa que augmenti la difusió de la llum dins de l'ull. Aquest enlluernament empitjora el funcionament del sistema visual, sobretot si la persona presenta alguna opacitat als mitjans oculars.

### 1.3.- METODES D'IL·LUMINACIÓ

Els mètodes d'il·luminació ens indiquen com es reparteix la llum a les zones il·luminades. Segons el grau d'uniformitat desitjat, podem veure tres casos d'aquets mètodes: l' il·luminació general, l'il·luminació general localitzat i l' il·luminació localitzat.

El primer de tots, l'il·luminació general, proporciona una il·luminació uniforme sobre tota l'àrea il·luminada. És un mètode d'il·luminació molt extens i es fa servir habitualment en les oficines, centres d'ensenyament, fabriques, etc.

S'aconsegueix distribuint les lluminàries de manera regular per tot el sostre del local.

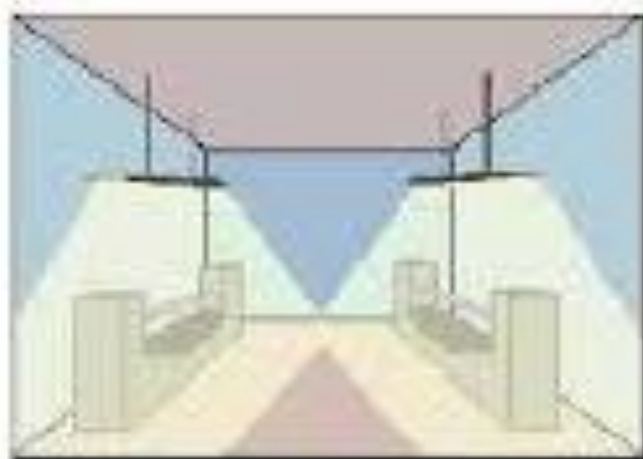


Alumbrado General

Fig.3. Exemple d' il·luminació general

(<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/155000-159999/158802/norma.htm>)

En segon cas, trobem l'il·luminació general localitzat, que proporciona una distribució no uniforme de la llum, d'aquesta manera es concentra sobre les àrees de treball. La resta del local, que seran principalment les zones més de pas, s'il·luminen amb la llum més tènue. Amb aquest mètode es pot aconseguir uns importants estalvis energètics, ja que la llum é concentra als llocs on volem més llum. No obstant, pot implicar alguns inconvenients respecte a altres mètodes, com pot ser la diferencia de lluminàries entre les zones de treball i les zones de pas, causant un enlluernament molest. A més, un altre inconvenient apareix quan en algun moment s'ha de canvia la localització de les lluminàries, llavors tindrem problemes per les zones que tindran la llum. Tot i els inconvenients és pot aconseguir aquest mètode d'il·luminació concentrant les lluminàries sobre les zones de treball.



Alumbrado general localizado

Fig.4.Exemple d il·luminació general localitzat (<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/155000-159999/158802/norma.htm>)

El tercer i últim mètode, és l'il·luminació localitzat, aquest mètode també es necessitari l'il·luminació suplementari d'aprop per ajudar a la tasca visual quan realitzem un treball en concret. N'és un exemple, les llums d'escriptori.

Utilitzarem aquest mètode sempre que tinguem un nivell d'il·luminació que sigui superior a 1.000 lux. També es farà servir quan hi hagin obstacles que tapin la llum que prové de l'il·luminació general, és a dir, quan no sigui necessari una

gran il·luminació permanent o bé per persones amb problemes visuals. Puntualitzar, que un aspecte que cal tenir en compte, quan fem servir aquest mètode és, que la relació entre les luminàncies de la tasca visual i el fons no sigui molt elevada, doncs en cas contrari és podria manifestar l'enlluernament molest.



Fig. 5. Exemple d' il·luminació localitzat. (<http://www.infoleg.gov.ar/infolegInternet/anexos/155000-159999/158802/norma.htm>)

## 1.4.- UGR

L'UGR significa “*índex d'enlluernament unificat*”.

Per poder realitzar les tasques sense errors i de manera confortable, cal controlar els possibles enlluernaments dins el camp de visió. L'enlluernament directe es mantindrà dins de límits acceptables si es controla el grau d'enlluernament molest. La magnitud de la sensació de l'enlluernament molest depèn, en principi, del número, la posició, la luminància, i la mesura de les fonts enlluernats i de la luminància a la qual els ulls estan adaptats. L'efecte sobre l'enlluernament, tant del nombre de lluminàries com de la luminància, està relacionat amb la luminància mitjana sobre el pla de treball.

Per las lluminàries, o una part d'elles, que siguin directament visibles sota la gamma crítica dels angles de visió, no només s'ha de limitar la luminància mitjana de la lluminària, sinó que a més les llums hauran apantallar adequadament.

El mètode de Corbes de Luminància (Sistema Sollner). En els anys seixanta, Sollner va realitzar exhaustives investigacions a fi d'establir un mètode empíric de limitació de l'enlluernament. Els experiments bàsics es van efectuar amb diversos models d'oficines a escales 1:3, en què es podien simular amb gran versemblança unes situacions de la vida real. Per a això, es van utilitzar diverses lluminàries fluorescentes.

Sollner va arribar a la conclusió que el grau d'enlluernament experimentat depenia de la luminància mitjana de les fonts de llum en la direcció de l'observador, de les dimensions de la sala i del nivell d'il·luminació del medi existent. En els seus estudis, els resultats van ser àmpliament confirmats en oficines de mida real, van fructificar en el Sistema Europeu de Limitació de Enlluernament, en què intervindrà el mètode de Corba de Luminància.

Malgrat tot, el sistema de limitació dels enlluernaments tipificat per Sollner mai ha gaudit d'una acceptació generalitzada, doncs per a molts resulta difícil de fer servir i només val per a l'il·luminació general. S'ha de puntualitzar, que amb l'ús actual de l'òptica especular i amb els tubs de diàmetre reduït (cap dels quals

existia quan es va establir el sistema), s'ha posat en dubte la validesa dels sistemes basats en el mètode de Sollner.

En conseqüència, durant els últims vint anys, la CIE ha intentat establir un sistema per a definir uns límits d'enlluernament acceptables per la comunitat internacional. El resultat és una recomanació per a un nou sistema de càlculs dels enlluernaments incòmodes en il·luminació interior, el sistema unificat UGR.

Per avaluar l'enlluernament, el mètode UGR considera l'enlluernament potencial de totes les lluminàries situades dins el camp visual d'un observador. El resultat del càlcul normalment un valor que oscil·la entre 10 i 30, on 10 significa "no enlluernament" i 30 significa "enlluernament pertorbador".

Per simplificar el sistema, la classificació UGR s'ha desenvolupat en una escala de 3 dígits. Els passos són 10, 13, 16, 19, etc. i corresponent a diferències perceptibles. Per exemple, es pot detectar fàcilment la diferència entre una instal·lació amb UGR 22 i una amb UGR 19.

Senyalar, que una instal·lació d'il·luminació no s'ha d'especificar amb un valor de UGR exacte, sinó amb UGR de 19, 22, 25 etc. (també anomenat UGR "límit").

Per posar un exemple, el valor màxim que recomana la EN12464 per a oficines és UGR 19.

Per calcular la UGR, farem servir aquesta fórmula:

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0.25}{L_{fons}} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{(L_{font\ i})^2 \cdot w_i}{P_i^2} \right) \right]$$

$L_{font}$  : luminància de la font ( $\text{cd/m}^2$ )

$L_{fons}$  : luminància del fons de les aules ( $\text{cd/m}^2$ )

$\omega$  : angle sòlid de la font lluminosa (sr)

$P$  : índex de posició de Guth.



## 1.5.- TIPUS DE LLUMINÀRIES

Quan una làmpada s'encén, el flux emes pot arribar als objectes de la sala directament o indirectament pel reflex en parets i sostre. La quantitat de llum que arriba directa o indirectament determina els diferents sistemes d'il·luminació amb avantatges o inconvenients.

### 1.5.1- DIRECTA

La lluminària directa es produeix quan tot el flux de les lampades va dirigit al terra. Aquest és el sistema més econòmic d'il·luminació i que també ofereix major rendiment lluminós. Per contra, el risc de enlluernament directe és més alt i produeix ombres que son poc agradables per la vista.

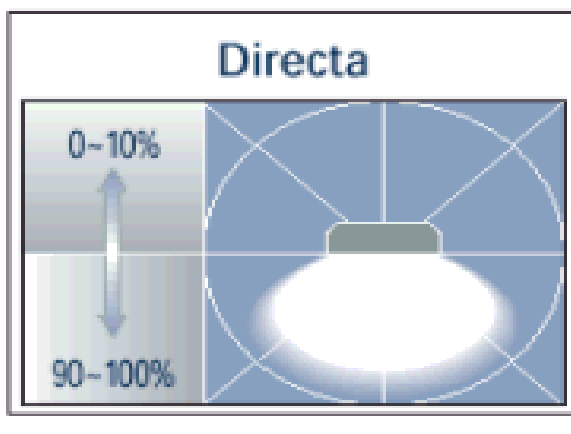


Fig.6 Exemple de lluminària directa ( <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>)

### 1.5.2.- SEMI-DIRECTA

La lluminària semi-directa té una major part del flux lluminós dirigit al terra i la resta és reflexa al sostre i les parets. En aquest cas, les ombres son més suaus i l'enlluernament és menor que en la directa. És recomanable per sostres que no siguin molt alts i per locals que no tinguin les llums dirigides cap al sostre.

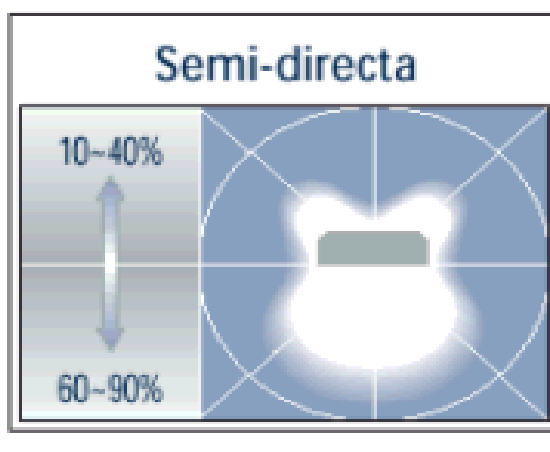


Fig.7. Exemple de lluminària semi-directa( <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>)

### 1.5.3.- GENERAL-DIFUSA

En aquest tipus de lluminària el flux es reparteix al cinquanta per cent entre procedència directa i indirecta. El risc d'enlluernament és baix i no hi ha ombres, el que li dona un aspecte monòton a la sala i sense relleu als objectes il·luminats.

Per evitar les pèrdues per absorció de llum al sostre i a les parets es recomana pintar-les amb colors clars o preferiblement de color blanc.

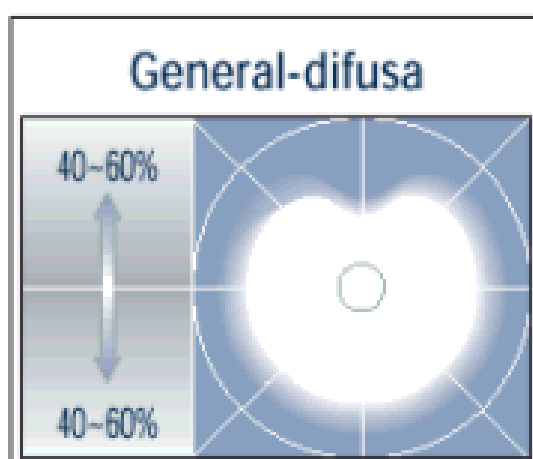


Fig.8. Exemple de lluminària general-difusa ( <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>)

### 1.5.4. SEMI-INDIRECTA

En la lluminària semi-indirecta la major part del flux prové del sostre i de les parets. Degut ha això, les pèrdues de flux per absorció son elevades i els consum

de potencia elèctrica també és elevada, això fa que sigui imprescindible pintar amb tons clars o blancs, com passa també amb la luminància difosa. Una cosa positiva d'aquesta lluminària és que la llum és de bona qualitat, per tant, produeix molt pocs enlluernaments i ombres suaus que donen relleu als objectes.

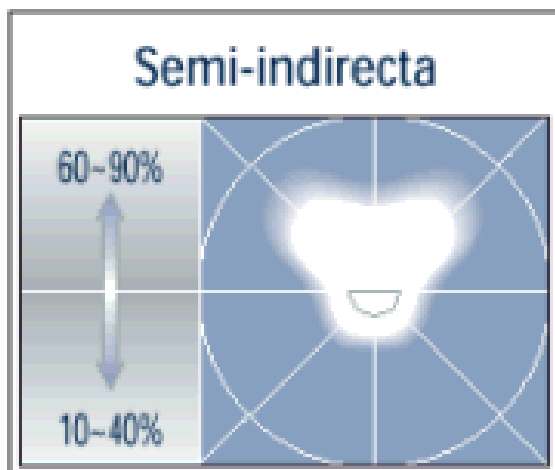


Fig.9 . Exemple de lluminària semi-indirecta (<http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>)

#### 1.5.5. INDIRECTA

En aquesta cas, la lluminària indirecta tindrà casi tota la llum direcció al sostre. És una col·locació acceptable, ja que és la més semblant a la llum natural, però un punt en contra seria que té unes pèrdues elevades d'absorció. Per això és imprescindible utilitzar pintures de colors blancs per ajudar a les reflectàncies elevades.

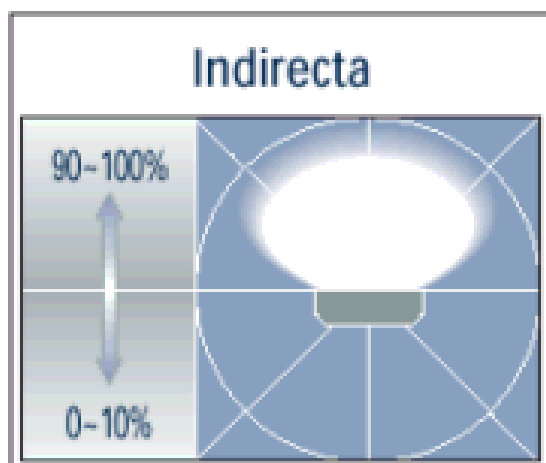


Fig. 10. Exemple de lluminària indirecta( <http://www.tuveras.com/luminotecnia/lamparasyluminarias.htm>)

## 2.- OBJECTIU

L'objectiu general d'aquest treball és desenvolupar una rutina de treball per tal de calcular quin nivell d'enlluernament molest hi ha en un local determinat, aplicant la fórmula de l'Índex Unificat d'Enlluernament (UGR) definit per la Comissió Internacional de la Il·luminació (CIE).

Com a objectius específics es plantegen els següents:

- Calibrar la càmera d'un mòbil amb el qual farem les fotografies de les lluminàries del local.
- Calcular l'angle sòlid de les lluminàries del local a partir del tractament de les imatges obtingudes amb la càmera del mòbil.
- Obtenir l'Índex Unificat d'Enlluernament (UGR) del local a partir dels angles sòlids de les lluminàries, i de les mesures de les seves luminàncies i la seva excentricitat, així com la mesura de la luminància de fons.
- Aplicar aquesta rutina de mesura en diferents espais docents de la FOOT.
- Comprovar el grau del compliment de la normativa sobre UGR en aquests espais docents.

### 3.- MATERIAL I PROCEDIMENT

#### 3.1.- MATERIAL

##### 3.1.1.- FOTÒMETRE MAVOLUX 5032C/B

El fotòmetre MAVOLUX 5032C/B serveix per calcular l'intensitat d'il·luminacions en locals de tipus industrials, instituts, universitats, tallers, etc. Aquest fotòmetre podrà seleccionar les unitats en lux i footcandles. El rang de mesurament del fotòmetre s'adapta automàticament al valor de mesura, encara que també es pot seleccionar de manera manual. El valor de mesura actual pot fixar-se amb la tecla Hold. El fotòmetre pot convertir-se en un mesurador de densitat lluminosa utilitzat com un component d'adaptació de la densitat, en aquest cas l'unitat serà en  $\text{cd}/\text{m}^2$ . Aquest fotòmetre té una sensibilitat espectral comparable a la dels ulls.



Fig. 11. Fotòmetre MAVOLUX 5032 C/B (<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-radiacion/luminancimetro-mavolux.htm>)

##### 3.1.2.- LUMINANCÍMETRE COLORÍMETRE CS-100A

El luminancímetre colorímetre CS-100A és un mesurador triestimul portàtil per mesura qualsevol font d'il·luminació, sigui exterior o interior. També és increïblement precís, dissenyat per la portabilitat i per minimitzar els temps en les mesures. Aquest luminancímetre té un sistema òptic que permet enfocar de forma precisa i segura l'àrea que s'ha de mesura, encara que sigui de forma propera. El luminancímetre colorímetre CS-100A mostra el valor de luminància, el camp i l'ambient mesurat.



Fig.12. Luminancímetre colorímetre CS-100A

(<http://www.directindustry.es/prod/konica-minolta-sensing-america/product-18425-436350.html>)

### 3.1.3.- NEXUS 5

El NEXUS 5 és el mòbil que s'ha utilitzat per fer les fotografies d'aquest treball. Aquest dispositiu consta d'una pantalla de 5.0 polzades i amb una resolució de 1920 x 1080.

La càmera principal, o posterior, del Nexus 5 té una resolució de 8.0 megapíxels i també disposarà de Flaix LED . Quant a la càmera frontal, la resolució és d'1.3 megapíxels però aquesta no constarà de Flaix. Unes altres característiques menys importants de la càmera seran; la geo-localització, reconeixement del rostre, fotografia panoràmica, HDR i fotografia esfèrica.



Fig. 13. Fotografia Nexus 5.( <http://computerhoy.com/fichas/google-nexus-5>)

### 3.2.- PROCEDIMENT

El procediment d'aquest treball constaria de tres apartats diferents:

#### 3.2.1.-CAPTACIÓ D'IMATGES DE RECTANGLES DE MIDES CONEGUDES, PRESENTATS EN UNA PANTALLA D'ORDENADOR.

L'estudi s'ha començat utilitzant un ordinador amb unes mides de la pantalla d'alçada 286 mm d'amplada 383 mm. Crearem un rectangle amb fons negre amb una mesura de 1440 a 1080 píxels, que seria tota la pantalla de l'ordinador i a sobre d'aquest també farem un altre rectangle blanc, el qual anirem canviant el nombre de píxels que el formen. Primer canviarem l'alçada del rectangle blanc de 20 a 20 píxels, deixant l'amplada sempre igual.

Ha continuació després canviarem l'amplada, farem servir el mateix patró que abans i en aquest cas quedarà igual l'alçada. En total tindrem unes 126 fotos, de la 1 a la 72 seran imatges que es modifica l'alçada i de la 73 a la 126 canviarem l'amplada.

Aquesta mesura la farem amb totes les llums apagades, per així poder apreciar el contrast entre blanc i negre amb la càmera del mòbil i no tenir cap altre contrast sobre la llum blanca.

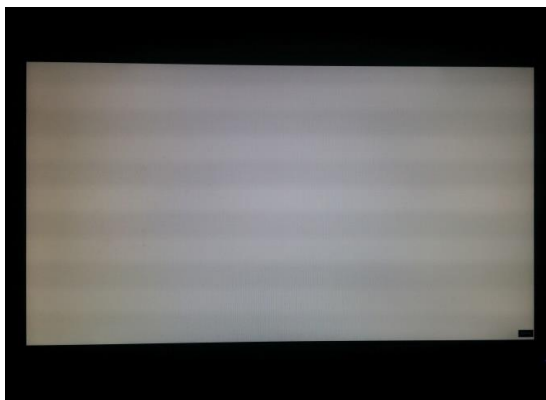


Fig. 14. Rectangle blanc de 1440 píxels d'ample i 1080 píxels d'alçada.

Amb el programa d'ordinador MATLAB hem aconseguit fer més tractament amb les imatges que acabem de parlar, aquest programa mesura el nombre de píxels que constarà a cada rectangle blanc de les fotografies. Amb aquestes imatges aconseguim establir la relació entre les fotografies de la càmera i els angles sòlids subtendits pels rectangles, que presentem a la pantalla de l'ordinador.



Amb aquest procediment aconseguirem conèixer els angles sòlids que tenen associats a cadascun dels píxels de la càmera del mòbil, en cada imatge hem tingut coneixement de la xifra de píxels que pren la càmera del mòbil, que seria de les dimensions de 2448 x 3264 píxels en total .

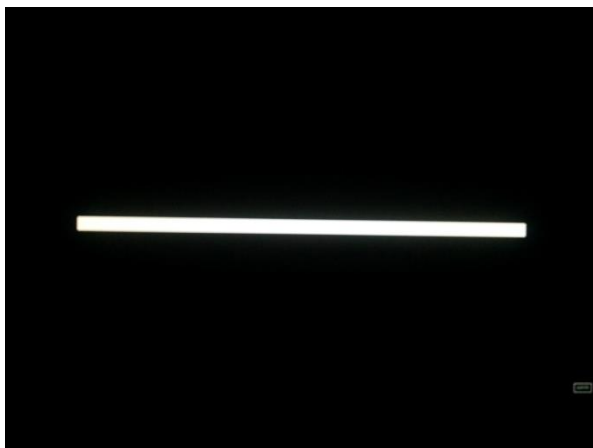


Fig.15. Rectangle blanc de 1440 píxels d'ample i 20 píxels d'alçada.

L'angle sòlid és un angle espacial que comprèn un objecte vist des d'un punt donat, que es correspon amb la zona de l'espai limitada per una superfície cònica i mesura la mida aparent d'aquest objecte.

És l'àrea del casquet esfèric ( $S_{CE}$ ), en una esfera de radi unitat, abastat per un con amb els seus vèrtex situats al centre de l'esfera. Trobarem el valor de  $S_{CE}$  amb les següents formules.

$$S_{CE} = 2\pi \cdot R \cdot h$$

$$\cos \alpha = \frac{R - h}{R}$$

$$R - h = R \cdot \cos \alpha$$

$$h = R \cdot (1 - \cos \alpha)$$

$$S_{CE} = 2\pi \cdot R^2 \cdot (1 - \cos \alpha)$$

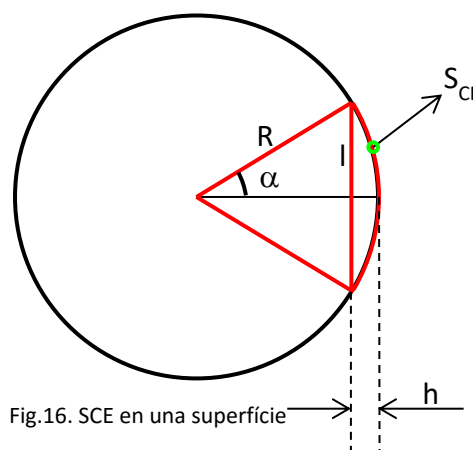


Fig.16. SCE en una superfície

Podrem saber l'angle sòlid d'aquest casques esfèric (  $\Omega_{CE}$  )

$$\Omega_{CE}(sr) = \frac{S_{CE}}{R^2}$$

$$\Omega_{CE}(sr) = 2\pi \cdot (1 - \cos \alpha)$$

Per calcular la superfície d'un casquet esfèric de forma rectangular farem els següents passos:

Primer, tindrem en compte la superfície de l'esfera. En segon lloc, restarem d'aquesta superfície la superfície del casquet esfèric que desestimem per la dreta i del casquet esfèric que desestimem per l'esquerra. Aquests casquets esfèrics resulten de tenir en compte  $90^\circ$  menys l'angle que subtendeix mig rectangle dret i mig rectangle esquerra, respectivament ( $90^\circ - \alpha_H$ ).

Finalment, com que la superfície resultant té simetria de revolució; considerem que la part proporcional de la superfície que li correspon a un angle vertical  $2 \cdot \alpha_V$  (multipliquem per  $2 \cdot \alpha_V$  i dividim per  $360^\circ$ ).

La superfície del casquet esfèric dret:  $S_{CED}$

La superfície del casquet esfèric esquerra:  $S_{CEE}$

$$S_{CED} = S_{CEE} = 2\pi \cdot R^2 \cdot (1 - \cos[90^\circ - \alpha_H])$$

$$S_{CED} = S_{CEE} = 2\pi \cdot R^2 \cdot (1 - \sin \alpha_H)$$

$$S_{CER} = \frac{2 \cdot \alpha_V}{360^\circ} (4\pi \cdot R^2 - 2 \cdot S_{CED}) = \frac{2 \cdot \alpha_V}{360^\circ} (4\pi \cdot R^2 - 4\pi \cdot R^2 [1 - \sin \alpha_H])$$

$$S_{CER} = \frac{2 \cdot \alpha_V}{360^\circ} 4\pi \cdot R^2 \cdot \sin \alpha_H$$

$$S_{CER} = \frac{\pi}{45^\circ} \cdot R^2 \cdot \alpha_V \cdot \sin \alpha_H$$

Per conèixer l'angle sòlid dels rectangles blancs que estan centrats a la pantalla de l'ordinador, haurem de veure com trobar aquest angle d'un rectangle centrat ( $\Omega_R$ );

$$\Omega_R(sr) = \frac{S_{CER}}{R^2}$$

$$\Omega_R(sr) = \frac{\pi}{45^\circ} \cdot \alpha_V \cdot \sin \alpha_H$$

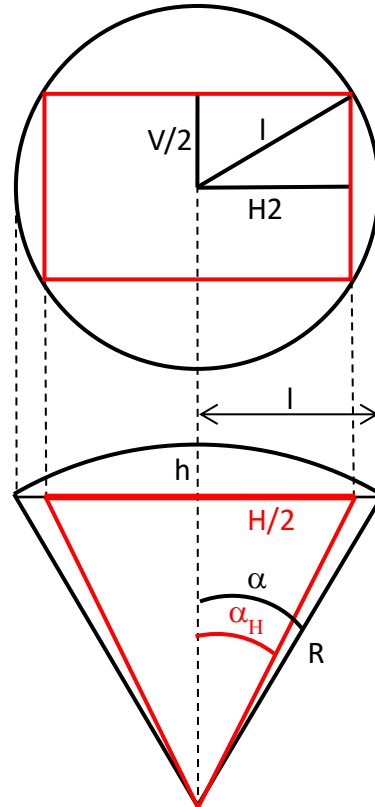


Fig.17.Angle sòlid dels rectangles

També demostrarem com es pot treure la formula per calcular l'angle sòlid per un rectangle descentrat( $\Omega_A$ ). Aquesta fórmula l'haurem d'utilitzar quan calculem la matriu d'angles sòlids que corresponen a cadascun dels píxels de la càmera del mòbil. Aquesta matriu serà utilitzada per conèixer l'angle sòlid de les il·luminàries fotografiades.

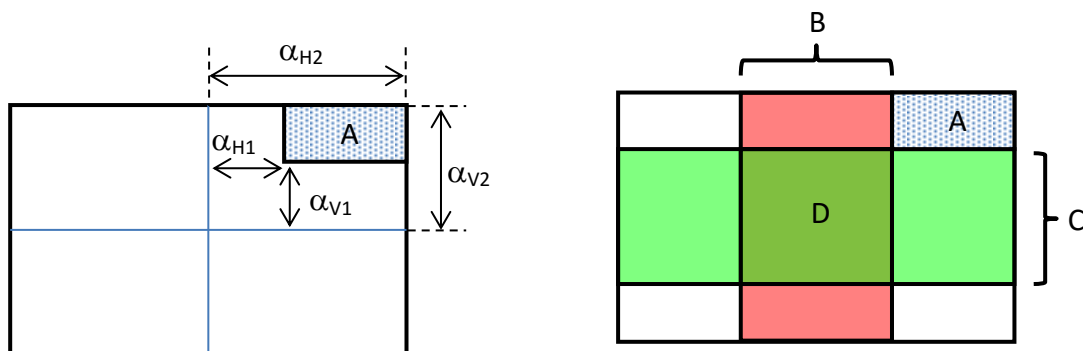


Fig.18. Angle sòlid d'un rectangle descentrat.

$$\Omega_A = \frac{\Omega_R - \Omega_B - \Omega_C + \Omega_D}{4}$$

$$\Omega_A(\text{sr}) = \frac{\pi}{45^\circ} \cdot \frac{(\alpha_{V2} \cdot \sin \alpha_{H2}) - (\alpha_{V2} \cdot \sin \alpha_{H1}) - (\alpha_{V1} \cdot \sin \alpha_{H2}) + (\alpha_{V1} \cdot \sin \alpha_{H1})}{4}$$

$$\Omega_A(\text{sr}) = \frac{\pi}{45^\circ} \cdot \frac{\sin \alpha_{H2} \cdot (\alpha_{V2} - \alpha_{V1}) - \sin \alpha_{H1} \cdot (\alpha_{V2} - \alpha_{V1})}{4}$$

$$\Omega_A(\text{sr}) = \frac{\pi}{45^\circ} \cdot \frac{(\alpha_{V2} - \alpha_{V1}) \cdot (\sin \alpha_{H2} - \sin \alpha_{H1})}{4}$$

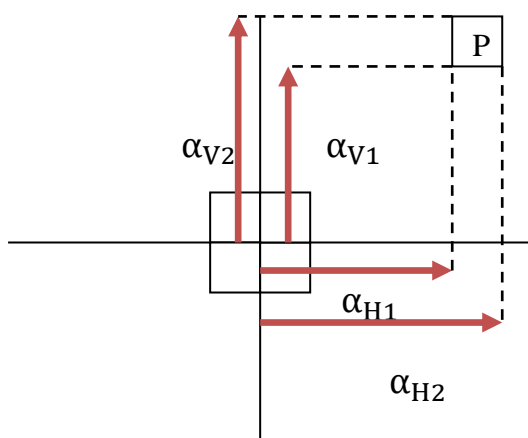


Fig.19. Angles horitzontals i verticals d'un píxel excèntric (P).

$$\Omega_A(\text{sr}) = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot (\alpha_{V2} - \alpha_{V1}) \cdot (\sin \alpha_{H2} - \sin \alpha_{H1})$$

Els angles  $\alpha_{V2}$  i  $\alpha_{H2}$  corresponen als límits del rectangle global (angles del vèrtex més excèntric del rectangle A).

Els angles  $\alpha_{V1}$  i  $\alpha_{H1}$  corresponen als límits del rectangle central D (angles del vèrtex més centrat del rectangle A).

### 3.2.2.- ELIMINACIÓ DE LA LLEUGERA INCLINACIÓ DE LES IMATGES OBTINGUDES.

Seguirem amb les imatge que tenim del calibratge, aquestes estan uns graus girades, per tant, les inclinarem perquè siguin rectes i així poder conèixer els píxels que formen els rectangles blancs que hem format abans i establir el valor d'angle sòlid associat a cada píxel de la càmera vertical i horitzontal. Puntualitzar, que per portar a terme aquestes inclinacions farem servir el programa MATLAB.

Al iniciar aquest programa tindrem d'anar a Graphical User Interface (GUI) i obrir la pestanya de Rotation, que serà el programa que ens ajudarà a saber quina rotació tindrem de donar a cada imatge perquè estiguin el més recte possible.

Un cop coneixem quina és la rotació que farà que hi hagi menys error amb els píxels totals, podrem veure quans píxels tindrem en horitzontal i vertical de cada rectangle blanc que s'ha fet anteriorment.

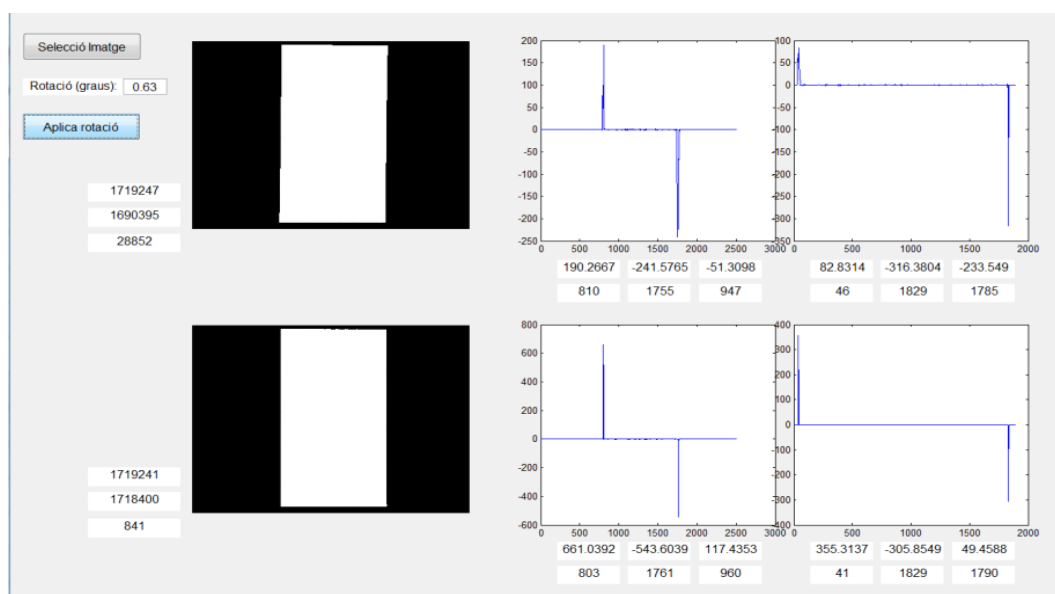


Fig.20 . Mostrat del programa MATLAB ROTATION.

La Figura 19 ens demostrar com és veu el programa, la imatge de dalt a l'esquerra és la fotografia original del rectangle amb blanc i negre que hem seleccionat, al costat li posarem el valor de rotació que trobem que tenim un nombre més petit d'error amb els píxels. Les rotacions que hem trobat en totes les imatges van de 0.6 a 0.7, son números petits, així que podem estar satisfets del calibratge que és va fer amb la càmera del mòbil.

El primer número de l'esquerra és el que ens indicarà el nombre de píxels totals

que hi ha en el rectangle blanc. Per saber la xifra de píxels que tenim amb la zona horitzontal i la vertical, hem de mirar els primers nombres a la dreta, aquets estaran sota dels gràfics. Al mig trobem els numero en horitzontal, i el de més a la dreta serà en vertical . Totes aquestes dades les agafarem de les imatges de sota de tot, ja que seran les dades amb els rectangles rectes. Ara amb aquestes mesures podrem establir el valor d'angle sòlid associat a cada píxel de la càmera.

### 3.2.3.- RELACIÓ EXISTENT ENTRE CADASCUN DELS PÍXELS DE LA CÀMERA I L'ANGLE SÒLID QUE TENEN ASSOCIAT.

El següent pas serà escollir les quatre classes de la FOOT. S'han elegit amb l'idea de que siguin representatives de diferents tipologies d'aula: una aula gran sense il·luminació natural, una aula petita amb una lleugera entrada d'il·luminació natural, una aula d'informàtica, i una aula de conferències.

Les quadre aules triades són: aula petita de la plana 1, en concret escollim l'aula 1.1; aula d'informàtica; aula d'audicions i aula gran de la Planta 2; la que s'ha elegit és l'aula 2.2.

El primer que farem al entrar a les aules, serà obrir totes les llums disponibles en aquestes, ja que sinó els càlculs no series reals. Per cada classe tindrem de situar-nos a la paret del fons, en el mig d'aquesta i a una alçada de 120 mm, que és l'alçada on estan els ulls quan les persones estan assentades, posició en que habitualment estan els usuaris a les aules. Quan estiguem en aquesta posició prendrem quatre cops l'il·luminància pupil·lar ( $E_p$ ) amb el fotòmetre MAVOLUX 5032C/B, així podrem fer la mitjana de les quatre mesures i tindrem el valor de la luminància del fons, la formula seria la següent:

$$L_{\text{fons}} = \frac{E_p}{\pi}$$

Aquests càlculs els necessitarem per poder calcular la UGR de les aules escollides per l'estudi. Els resultat de la  $E_p$  i de la  $L_{\text{fons}}$  de les quatre aules estaria representat a la taula 1 que esta a continuació.

**Taula 1. Mesura de Ep i Lfons de quatre aules de la FOOT.**

	Aula 1.1	Aula informàtica	Aula Audicions	Aula 2.2
<b>Ep 1</b>	782	610	561	374
<b>Ep 2</b>	760	616	566	353
<b>Ep 3</b>	790	612	590	359
<b>Ep 4</b>	818	620	575	374
<b>Lfons</b>	250,6690	184,8852	182,3915	116,1831

Els resultat de Ep estan amb lux i els de Lfons amb  $\text{cd/m}^2$ .

Al acabar amb el càlcul anterior seguirem amb el següent pas, que serà des de la mateixa posició d'abans, a la meitat del fons de l'aula i a la mateixa alçada, i es mesura la luminància de cada una de les lluminàries que estaran a les classes. La luminància la mesurarem mitjançant el luminancímetre colorímetre CS-100A i per poder saber les mesures haurem d'enfocar aquest al centre de cadascuna d'elles.

En la taula 2 veurem el càlcul de les lluminàries a l'aula 1.1, amb aquesta aula trobem les llums son paral·leles a la pissarra i que tenim tres files de tres lluminàries que enfoca a tota l'aula i trobem també tres lluminàries al damunt de la pissarra. Calcularem primer les tres del fons i anirem tirant cap endavant fins arriba a les de la pissarra.

**Taula 2. Mesura de luminància de les lluminàries de l'aula 1.1**

	Lluminàries Darrere	Lluminàries mig	Lluminàries davant	Lluminàries Pissarra
<b>Lluminàries dreta</b>	10.650	5.601	2.423	2.663
<b>Lluminàries mig</b>	10.750	5.595	2.537	2.543
<b>Lluminàries esquerra</b>	7.893	5.180	2.407	1.772

Tots els resultat estan amb  $\text{cd/m}^2$



La següent aula que és va mesurar va ser l'aula d'informàtica, des de la mateixa posició que els apartats anterior, mesurarem la luminància. Amb aquesta aula trobarem les llums perpendiculars a la pissarra, en aquest cas també trobarem tres lluminàries en tres files, però a la pissarra només trobarem dos. En aquesta aula també comencem a calcular des de les de darrere i anirem cap a endavant fins a les que estan situades a la pissarra. Els càlculs els podem veure a la taula 3.

**Taula 3. Mesura de luminància de les lluminàries de l'aula informàtica.**

	Lluminàries	Lluminàries	Lluminàries	Lluminàries
	darrere	mig	davant	Pissarra
Lluminàries dreta	89,18	40,35	76,25	2.035
Lluminàries mig	105,3	31,03	66,08	-
Lluminàries esquerra	192,4	603,70	35,60	2.346

Tots els resultats estan amb  $\text{cd/m}^2$

Continuarem amb les mesures de la tercera aula seleccionada, l'aula d'audicions. En aquesta aula trobarem les lluminàries estan situades de manera paral·lela a la pissarra, també trobarem quatre files de llums de tres lluminàries però en aquest cas no tindrà llums sobre la pissarra, estaran situades més endavant d'aquesta, però continuem anomenant-les lluminàries de la pissarra per aclarir que són les llums que estan més a prop de la pissarra i situar-les millor. A la taula 4 podrem veure els càlculs de les luminàncies d'aquesta aula.

**Taula 4. Mesura de luminància de les lluminàries de l'aula d'audicions**

	Lluminàries	Lluminàries	Lluminàries	Lluminàries
	darrere	mig	davant	Pissarra
Lluminàries dreta	7.008	5.743	3.120	2.780
Lluminàries mig	8.350	7.553	3.980	2.435
Lluminàries esquerra	7.455	6.203	4.095	3.528

Tots els resultats estan amb  $\text{cd/m}^2$

Per finalitzar aquesta mesura calcularem l'última aula que ens queda, l'aula 2.2. Aquesta aula tindrem quatre lluminàries a sobre la pissarra i torbarem quatre files de quatre lluminàries perpendiculars a la pissarra. En aquest cas tindrem més lluminàries que en les aules anteriors, així que primer mesurarem la fila que està més a la nostra dreta, l'anomenarem lluminària 1. La fila que estarà a la dreta per situada més al mig serà la lluminària 2. La lluminària 3 serà la que trobarem al mig però més a l'esquerra i per finalitza la lluminària 4, que seran les que estan més a la nostra esquerra. Totes les files mesurarem primer la que està situada més al darrere, després la que està una endavant a aquesta, que l'anomenarem la del mig darrere, la de després serà la del mig davant i per finalitzar la de més davant.

Les quatre lluminàries de la pissarra començarem mesurant la que està més a la dreta i anirem avançant fins l'esquerra. Els resultats de les mesures d'aquesta aula es poden veure a la taula 5.

**Taula 5. Mesura de luminància de les lluminàries de l'aula 2.2**

	Lluminària	Lluminària	Lluminària	Lluminària
	1	2	3	4
<b>Lluminàries darrere</b>	6.138	7.894	10.240	7.171
<b>Lluminàries mig darrere</b>	4.627	2.640	4.998	4.395
<b>Lluminàries mig davant</b>	3.304	2.807	3.370	3.213
<b>Lluminàries davant</b>	2.022	1.651	2.426	2.226

<sup>2</sup>  
Tots els resultats estan amb cd/m

A la taula 6 podrem trobar els resultats de les mesures de les lluminàries de la pissarra.

**Taula 6. Mesura de luminància de les lluminàries de la pissarra de l'aula 2.2**

	Lluminàries	Lluminàries	Lluminàries	Lluminàries
	dreta	mig dreta	mig esquerra	esquerra
Lluminàries	1.510	1.848	1.724	2.038

pissarra

Tots els resultat estan amb  $\text{cd/m}^2$

Al acabar totes aquestes mesures, tornarem a anar a les quatre aules a continua amb el següent pas que serà fer fotos de totes les lluminàries de les aules amb la càmera del mòbil. L'orientarem perpendicular a la línia objectiu-lluminària, en cada cas.

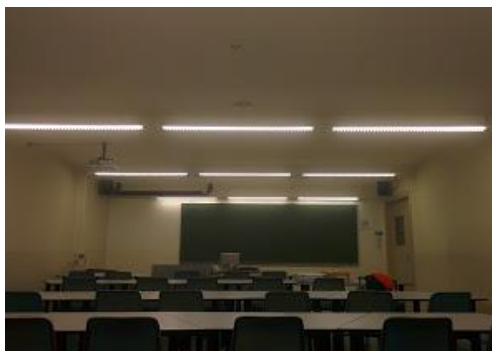


Fig.21. Fotografia d'aula d'informatica

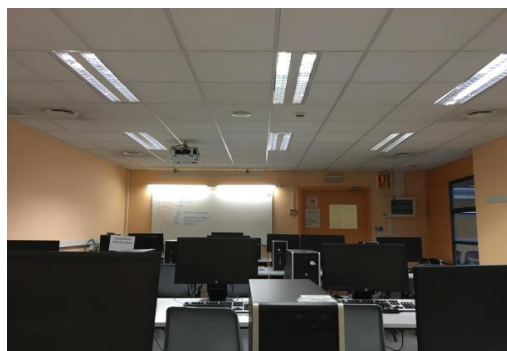


Fig. 22 . Fotografia lluminàries aula 1.1

Al acabar farem les mesures que tenen les quatre aules, mesurarem l'amplada, l'alçada i l'altura de l'aula. Després començarem a mesurar on estan situades les lluminàries, aquestes mesures les farem del mig del fons de l'aula. Llavors mirem quin es el valor de totes les mesures de l'aula del centre de les lluminàries fins a la posició dita anteriorment. Mirarem quin és el valor del mig del fons fins al centre de les lluminàries del darrere de l'aula horitzontalment, aquesta mesura serà la distancia "X" i serà la mateixa per les lluminàries de la mateixa fila. Anirem calculant de dreta a esquerra.



Fig.23. Fotografia de l'aula d'audicions .



Fig.24. Fotografia d'aula d'2.2

Després calcularem des de la mateixa posició del fons fins al centre de les llums verticalment. Aquesta mesura serà sempre igual per les columnes de les llums, és a dir , totes les llums de darrere tindran la mateixa distancia vertical, aquesta mesura serà la distancia "Y". En el cas de l'altura, la farem del terra fins on estan les lluminàries, però després li restarem l'alçada des on estaven situats, és a dir, restarem 120 mm i aquesta serà coneguda com a "Z".

Amb aquestes mesures seguirem el mateix ordre que els càlculs anterior, començarem amb les mesures de l'aula 1.1. Aquesta aula tindrem l'alçada de les lluminàries a la mateixa alçada per totes igual, com és pot comprovar a la Fig.21. També tindrem la sort que les llums del mig estan centrades a la nostra posició del mig del fons de l'aula. A la taula 7 podrem veure el resultat d'aquestes mesures de l'aula 1.1.

**Taula 7. Mesura de l'aula 1.1.**

	Distancia Horitzontal (x)	Distancia Vertical (y)	Alçada (z)
Lluminàries dreta	163.25	120	118
Lluminàries mig	0.00	386.6	118
Lluminàries esquerra	163.25	649	118
Lluminàries pissarra	166.25	849	118

Tots els resultat estan en mm.

La següent aula que mesurarem les distàncies serà l'aula d'informàtica, en aquesta aula farem el mateix procediment que l'aula anterior. En aquesta aula tindrem una alçada diferent per les lluminàries que estan a l'aula amb les lluminàries que estan a la pissarra, les últimes estan en una posició més baixa. Podrem veure les mesures a la taula 8.

**Taula 8. Mesura de l'aula d'informàtica.**

	Distància Horitzontal (x)	Distància Vertical (y)	Alçada (z)
<b>Lluminàries</b>	74.2	115	131.5
<b>dreta</b>			
<b>Lluminàries</b>	0.00	248	131.5
<b>mig</b>			
<b>Lluminàries</b>	74.2	578	131.5
<b>esquerra</b>			
<b>Lluminàries</b>	43.2	859	93.2
<b>Pissarra dreta</b>			
<b>Lluminàries</b>	21.4	859	93.2
<b>Pissarra esquerra</b>			

Tots els resultats estan en mm.

Continuarem amb les mesures de l'aula d'audicions. En aquesta aula l'alçada per totes les lluminàries serà la mateixa per totes i també trobarem que les lluminàries del mig seran a la mateixa distància horitzontal de la nostra posició. Els resultats d'aquesta aula els trobarem a la taula 9. Trobarem que les lluminàries de la pissarra tindrem la mateixa distància horitzontal que les altres lluminàries de l'aula.

**Taula 9. Mesura de l'aula d'audicions.**

	Distancia Horitzontal (x)	Distancia Vertical (y)	Alçada (z)
Lluminàries	152.15	216.5	138
dreta			
Lluminàries	0.00	480	138
mig			
Lluminàries	127.65	730.4	138
esquerra			
Lluminàries	-	993.4	138
pissarra			

Tots els resultat estan en mm.

Per finalitzar, mesurarem les distàncies de l'aula 2.2. Aquesta aula tindrem dos alçades diferents, una per l'alçada de totes les lluminàries de les aules i l'altra una alçada per les lluminàries de la pissarra. En aquest cas aquesta aula té uns esglaons però com totes les mesures de llums la vam fer a la mateixa alçada, l'esglaó de dalt de tot, es l'alçada que agafarem. Tindrem quatre lluminàries, per poder saber quines son direm que les distàncies de les llums que estan mes a la dreta i l'esquerra seran les lluminàries pissarra extrem i les dos que estan al mig seran les lluminàries pissarra mig. Els resultat els trobarem a la taula 10.

**Taula 10. Mesura de l'aula 2.2.**

	Distancia Horitzontal (x)	Distancia Vertical (y)	Alçada (z)
<b>Lluminàries</b>	323.5	169.1	213
<b>dreta</b>			
<b>Lluminàries</b>	110.84	349.1	213
<b>mig dreta</b>			
<b>Lluminàries</b>	110.84	529.1	213
<b>mig esquerra</b>			
<b>Lluminàries</b>	323.5	698.2	213
<b>esquerra</b>			
<b>Lluminàries</b>	653	796.7	136
<b>pissarra extrem</b>			
<b>Lluminàries</b>	551.7	796.7	136
<b>pissarra mig</b>			

Tots els resultat estan en mm.

Al finalitzar aquestes mesures podrem saber quin és l'índex de posició de Guth (P). Per saber aquets càlculs tindrem en atenció les mesures que hem fet de les distancies de les quatre aules seleccionades.

La distancia que hem nombrat com a "X" seria la disstamcia horitzontal de l'ull fins a la lluminària que voldrem. La distancia "Y" serà la llargària on esta l'ull fins a la lluminària que s'ha triat i per finalitzar, la "Z" seria l'alçada on esta l'ull fins a la lluminària.

Amb aquests càlculs aconseguirem saber els angles  $\alpha$  i  $\beta$  que els necessitem per poder saber el valor final de l'índex de posició de Guth. Amb l'ajuda de la Fig. 25 podem observar d'on obtenim aquets dos paràmetres. L'angle  $\alpha$  és el situat entre el pla vertical on consta la línia de visió i el pla que te la línia de visió a traves de la font. L'angle  $\beta$  serà el que esta entre la línia de visió i la línia entre l'observador i la font.

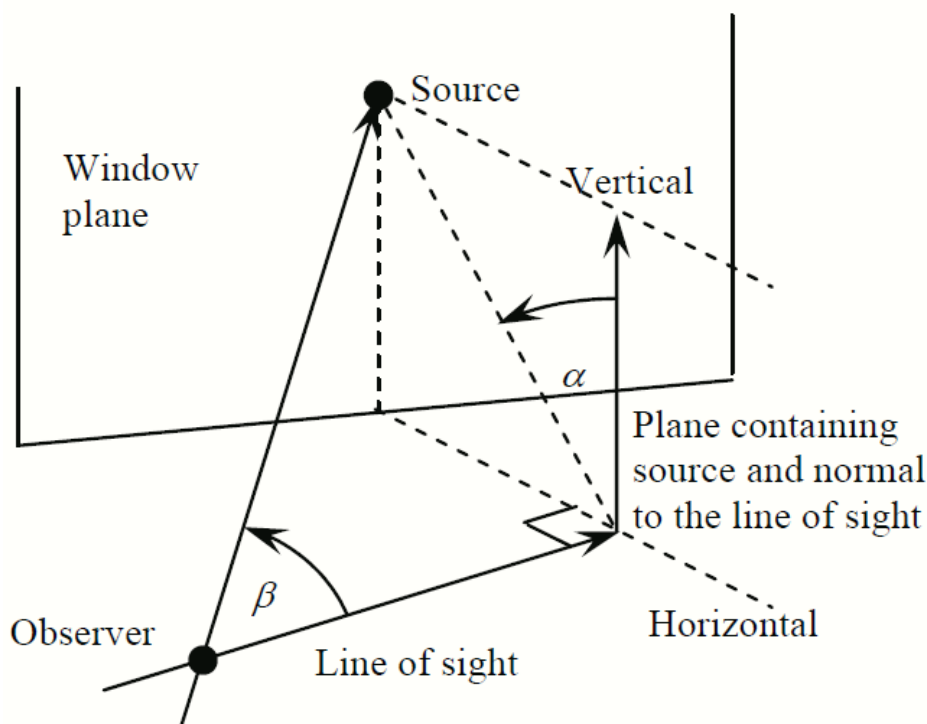


Fig. 25 Figura amb els angles  $\alpha$  i  $\beta$  a un pla. ([http://www.guide-clea.fr/clea\\_projet/daylight-glare-probability/](http://www.guide-clea.fr/clea_projet/daylight-glare-probability/))

Amb la Fig. 26 podem conèixer la formula on podem assolir el resultat de l'índex de posició de Guth amb els dos angles.

$$P = \exp \left\{ \left( (35.2 - 0.31889\alpha - 1.22e^{-2\alpha/9})10^{-3}\beta + \right. \right. \\ \left. \left. (21 + 0.26667\alpha - 0.002963\alpha^2)10^{-5}\beta^2 \right) \right\}$$

Fig.26 Formula de l'índex de posició de Guth.

([http://docs.agi32.com/AGI32/Content/adding\\_calculation\\_points/Calculations\\_UGR\\_Concepts.htm](http://docs.agi32.com/AGI32/Content/adding_calculation_points/Calculations_UGR_Concepts.htm))

Quan tinguem els valors d'aquets dos angles podrem saber els valors de l'índex de posició de Guth. Farem aquets càlculs per totes les lluminàries de les quatre aules triades de la FOOT que s'han calculat anteriorment.

Els resultats de l'índex de posició de Guth de l'aula 1.1 es podran veure a la taula 11, l'orde de les lluminàries serà el mateix que l'apartat anterior, les llums seran de dreta a esquerra.



**Taula 11. Mesura de l'índex de posició de Guth per l'aula 1.1.**

	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	P
<b>Lluminàries</b>	54.14	59.22	7.3902
<b>darrere</b>	0.00	44.52	6.8822
	54.14	59.22	7.3902
<b>Lluminàries</b>	54.14	27.52	2.0062
<b>mig</b>	0.00	16.97	1.8913
	54.14	27.50	2.0046
<b>Lluminàries</b>	54.14	17.24	1.4752
<b>esquerra</b>	0.00	10.30	1.4513
	54.14	17.24	1.4752
<b>Lluminàries</b>	54.14	13.50	1.3348
<b>pissarra</b>	0.00	7.91	1.3258
	54.14	13.50	1.3348

Els resultat de l'índex de posició de Guth per l'aula d'informàtica el podrem veure a la taula 12. En aquesta taula també seguirem l'orde posat anteriorment.

**Taula 12. Mesura de l'índex de posició de Guth per l'aula d'informàtica.**

	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	P
<b>Lluminàries</b>	27.00	52.07	8.0899
<b>darrere</b>	0.00	48.83	8.6706
	27.00	52.07	8.0899
<b>Lluminàries</b>	27.00	22.98	2.1139
<b>mig</b>	0.00	20.70	2.2109
	27.00	22.98	2.1139
<b>Lluminàries</b>	26.91	14.37	1.5466
<b>esquerra</b>	0.00	12.86	1.6030
	26.91	14.37	1.5466
<b>Lluminàries</b>	12.93	6.35	1.2295
<b>pissarra</b>	24.77	6.81	1.2189

Els resultat de l'aula d'audicions sobre l'índex de posició de Guth estarà ala taula 13.

**Taula 13. Mesura de l'índex de posició de Guth per l'aula d'audicions.**

	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	P
<b>Lluminàries</b>	47.79	43.49	3.9688
<b>darrere</b>	0.00	32.51	3.7691
	42.77	40.97	3.8046
<b>Lluminàries</b>	47.79	23.17	1.8353
<b>mig</b>	0.00	16.04	1.8204
	42.85	21.41	1.7947
<b>Lluminàries</b>	47.79	15.71	1.4624
<b>esquerra</b>	0.00	10.70	1.4734
	42.85	14.45	1.4442
<b>Lluminàries</b>	47.79	11.68	1.3100
<b>pissarra</b>	0.00	7.91	1.3256
	42.77	10.72	1.2996

Per finalitzar, podem veure a la taula 14 els resultat de l'índex de Guth per l'aula 2.2.

**Taula 14. Mesura de l'índex de posició de Guth per l'aula 2.2.**

	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	P
<b>Lluminàries</b>	57.36	66.82	10.1260
<b>darrere</b>	27.49	54.84	9.3410
	27.49	54.84	9.3410
	57.36	66.82	10.1260
<b>Lluminàries</b>	57.36	48.52	4.2438
<b>mig darrere</b>	27.49	34.52	3.3985
	27.49	34.52	3.3985
	57.36	48.52	4.2438
<b>Lluminàries</b>	57.36	36.73	2.6629
<b>mig davant</b>	27.49	24.41	2.2269
	27.49	24.41	2.2269
	57.36	36.73	2.6629
<b>Lluminàries</b>	57.36	29.49	2.0742
<b>davant</b>	27.49	18.98	1.8141
	27,49	18,98	1,8141
	57,36	29,49	2,0742

	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	P
Lluminàries	78,24	39,94	2,1987
pissarra	76,15	35,50	1,9966
	76,15	35,50	1,9966
	78,24	39,94	2,1987

Aquets resultat de les quatre aules podem veure que entren amb la normalitat, no ens ha sortit cap numero en negatiu o algun nombre massa gran, que hagués significat que alguna mesura estava mal presa o que teníem algun problema amb la formula.

Continuarem amb l'utima part que ens queda del procediment, haurem de processar les imatges que hem fet de les lluminàries de cada aula que es va fer anteriorment, es a dir, que amb el MATLAB podrem fer que les imatges siguin binalitzades. Anirem elegint les imatges que mostrin les lluminàries que voldrem tractar de cada aula, la figura 26 ens mostra com és el programa.

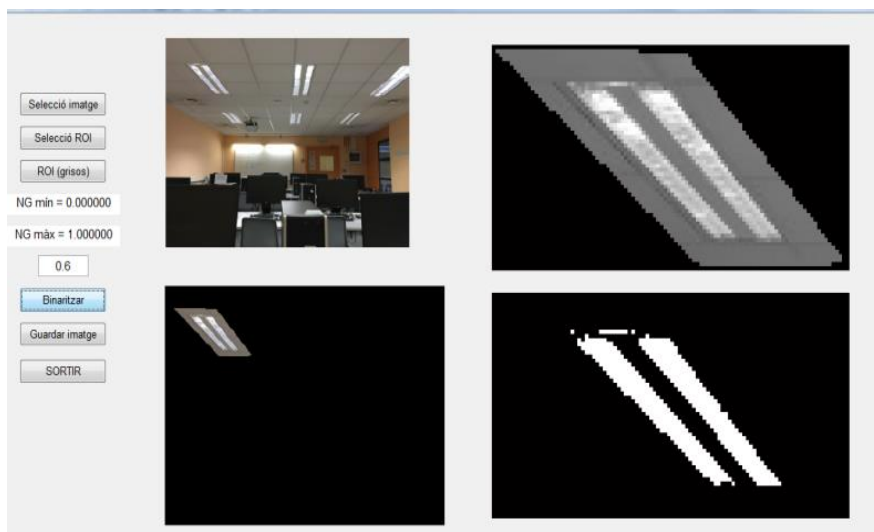


Fig.27 . Mostrar del programa MATLAB amb ROI

Amb aquest programa també hem d'anar al GUI després d'obrir el MATLAB però aquest cop elegirem el programa ROI. Quan tenim aquest programa obert seleccionem la imatge on tenim la lluminària que volen passar a codi binari. Per poder seleccionar l'àrea d'interès farem servir el "Selecció ROI" on ens deixarà agafar la zona que volem. Després apareixerà a sota de la imatge original una foto on tindrem aïllada la zona seleccionada, a continuació anirem a ROI (grisos)

per que ens sorti la imatge de dalt a la dreta mes gran i de color gris. Tot seguit posarem un nombre que acostumarà a anar de 0.5 a 0.7 on binaritzar la imatge de gris. Aquí el que passa és que només es veurà en blanc on la lluminària està il·luminant i tota la resta serà negra, tal com es veu a la imatge de baix de la dreta.

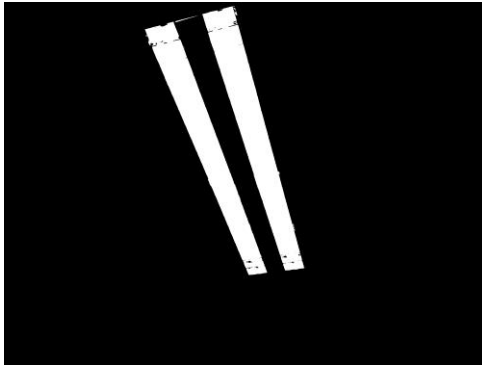


Fig.28. Fotografia binaritzada de l'aula d'informàtica.

Aquest procediment el farem amb totes les lluminàries i així les podrem tenir individualitzades. En cada imatge, els píxels corresponents a la lluminària tene un valor de gris 1, mentre que la resta dels píxels tene un valor de gris 0.

Aquesta imatge, que en definitiva és una matriu d'uns i zeros, es multiplicarà per la matriu de valors d'angle sòlid que s'ha descrit en un apartat anterior, i finalment se sumaran els valors de la matriu resultant d'aquest producte píxel a píxel, donat-nos el valor de l'angle sòlid d'aquella lluminària concreta.

Podem trobar els resultat a la taula 15 i així ja tindrem totes les mesures que necessitem per calcular el UGR.

**Taula 15. Mesura de l'angle sòlid de les lluminàries a les quatre aules.**

	Aula 1.1	Aula d'informàtica	Aula d'audicions	Aula 2.2.
<b>Lluminàries</b>	0,0181	0,0574	0,0147	0,0058
<b>darrere</b>	0,0410	0,1120	0,0276	0,0187
	0,0219	0,0291	0,0126	0,0240
	-	-	-	0,0054
<b>Lluminàries</b>	0,0440	0,0085	0,0041	0,0046
<b>mig darrere</b>	0,0051	0,0093	0,0058	0,0058
	0,0043	0,0063	0,0041	0,0052
	-	-	-	0,0035
<b>Lluminàries</b>	-	-	-	0,0028
<b>mig davant</b>	-	-	-	2,20e-3
	-	-	-	0,0016
	-	-	-	0,0019
<b>Lluminàries</b>	0,0180	0,0018	0,0016	0,0016
<b>davant</b>	0,0015	0,0021	0,0015	1,00e-3
	0,0018	0,0018	0,0014	0,0006
	-	-	-	0,0010

	Aula 1.1	Aula d'informàtica	Aula d'audicions	Aula 2.2.
Lluminàries	0.0010	0.0030	0.0009	0.0026
pissarra	9.62 e <sup>-4</sup>	-	8.70e <sup>-4</sup>	0.0039
	9.62e <sup>-4</sup>	2.80e <sup>-3</sup>	7.35e <sup>-4</sup>	0.051
		-	-	0.004

Totes les mesures estan amb sr.



## 4.- RESULTATS

En aquest moment, amb tots els resultat que hem obtingut amb els càlculs anteriors: la luminància de les lluminàries (Lfont), la luminància del fons (Lfons), l'índex de posició de Guth (P) i l'angle sòlid ( $\omega$ ), ja podem calcular el valor de UGR de les quatre aules de la FOOT que hem seleccionat anteriorment.

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0.25}{L_{fons}} \cdot \sum_{i=1}^n \left( \frac{(L_{font\ i})^2 \cdot w_i}{P_i^2} \right) \right]$$

Concretament, podem veure el resultat del càlcul (  $(L_{font}^2 \cdot \omega_i) / P^2$  ) a la taula 16 de totes les quatre aules de la FOOT.

**Taula 16. Mesura (  $(L_{font}^2 \cdot \omega_i) / P^2$  ) de les quatre aules.**

	Aula 1.1	Aula d'informàtica	Aula d'audicions	Aula 2.2.
<b>Lluminàries</b>	37.589,40	6,98	45.833,93	2.131,11
<b>darrere</b>	100.033,67	16,52	135.458,64	13.355,16
	24.981,35	16,46	48.377,99	28.841,94
	-	-	-	2.708,18
<b>Lluminàries</b>	342.953,60	3,10	55.344,70	5.468,23
<b>mig darrere</b>	44.632,33	1,83	99.846,61	3.499,95
	29.831,90	513,82	48.978,30	11.246,60
	-	-	-	3.753,84
<b>Lluminàries</b>	-	-	-	4.310,50
<b>mig davant</b>	-	-	-	3.495,47
	-	-	-	3.664,19
	-	-	-	2.766,08

<b>Lluminàries</b>	48.559,87	4,38	7.282,77	1.520,48
<b>davant</b>	4.583,72	3,57	10.945,01	828,26
	4.792,07	0,95	11.255,92	1.157,71
	-	-	-	1.151,73
<b>Lluminàries</b>	3.980,25	8.218,51	4.015,70	1.226,29
<b>pissarra</b>	3.539,622	-	2.934,15	3.341,07
	1.695,56	10.372,36	5.413,77	41.081,28
	-	-	-	3.866,24

Amb les mesures anteriors farem el sumatori dels resultats:

En el cas concret de l'aula 1.1 obtenim un resultat de 647.173,34. Amb aquest resultat ja podem multiplicar per 0.25 i dividir per la luminància del fons, d'aquesta aula, que és 250.669 cd/m<sup>2</sup>

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0,25}{250.669} \cdot 647.173,34 \right]$$

Un cop hem obtingut aquests resultats ja podem fer el logaritme decimal. Després hem de multiplicar-ho per 8 i amb aquest càlcul ja tindrem el valor final de UGR de l'aula 1.1., que és **22.48**.

Continuarem amb el sumatori de l'aula d'informàtica. En aquesta aula obtenim un resultat del 19.158,48, el qual si seguim el mateix procediment anterior:

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0.25}{184.8852} \cdot 19.158,48 \right]$$

Com podem comprovar aquesta aula tindrà una luminància que serà de 184.8852 lux. Amb aquest càlcul aconseguim per l'aula d'informàtica un valor final de UGR de **11.31**.

A continuació observem els resultat de la suma per l'aula d'audicions, tindrem un resultat de 470.273,72, continuarem multiplicant per 0.25 i dividint per la luminància d'aquesta aula, que serà de 182.39185 lux.

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0.25}{182.39185} \cdot 470.273,72 \right]$$

Amb tot tornarem a fer el logaritme i multipliquem per 8 i amb aquest càlcul ja tindrem el valor final de UGR que serà igual a **22.47**.

Per finalitzar, farem els càlculs del sumatori de l'aula 2.2, on podem veure que tenim un resultat de 139.414,34, que hem de multiplicar per 0.25 i dividir per 116.1831 lux, la luminància d'aquesta aula,

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left[ \frac{0.25}{116,1831} \cdot 139.414,34 \right]$$

Amb tot aquest càlculs fem el logaritme decimal i multipliquem per 8. Un cop realitzats tots els càlculs, obtenim en l'aula 2.2. un valor de UGR del **19.82**.

## 5.- CONCLUSIONS

En aquest TFG s'han complert tots els objectius que s'havien plantejat a l'inici:

- S'ha desenvolupat una rutina de treball per tal de calcular quin nivell d'enlluernament molest hi ha en un local determinat, aplicant la fórmula de l'Índex Unificat d'Enlluernament (UGR) definit per la Comissió Internacional de la Il·luminació (CIE).
- S'ha procedit a fer el calibratge d'una càmera d'un mòbil, amb el qual s'han pres fotografies de les lluminàries d'un local determinat.
- S'han calculat els angles sòlids de totes les lluminàries d'un local, a partir del tractament de les imatges obtingudes amb la càmera del mòbil.
- S'ha obtingut el valor de l'Índex Unificat d'Enlluernament (UGR) del local a partir dels àngles sòlids de les lluminàries, i de les mesures de les seves luminàncies i la seva excentricitat, així com la mesura de la luminància de fons.
- S'ha aplicat aquesta rutina de mesura en 4 aules diferents de la FOOT.
- Tenint en compte els valors d'UGR màxims recomanats per la CIE, en les 4 aules estudiades no s'hauria de superar el valor  $UGR=19$ . Davant dels resultats es pot concloure que només es compleix la normativa en el cas de l'aula informàtica ( $UGR=11,31$ ), que en el cas de l'aula 2.2, l'incompliment és lleu ( $UGR=19,82$ ), i que les aules que incompleixen més àmpliament la normativa són l'aula d'audicions ( $UGR=22,47$ ) i l'aula 1,1 ( $22,48$ ). Aquests valors és podrien millorar si féssim algun canvi amb el tipus de lluminària o amb la seva distribució i orientació, o fins i tot utilitzant elements protectors per evitar l'enlluernament directe.

Tipo de actividad	UGR <sub>máx</sub>
Dibujo técnico	16
Lectura, escritura, aulas docentes, trabajo con ordenador, inspecciones	19
Trabajos en la industria y de embalaje, recepción	22
Trabajos burdos y escaleras	25
Pasillos	28

## 6.- BIBLIOGRAFIA

North, R.V. "Trabajo y Ojo". Barcelona: Masson. (1996).

Smith, N.A. "Lighting for Health and Safety". Oxford: Butterworth-Heinemann. (2000).

Lillo Jover, J. "Ergonomía. Evaluación y diseño del entorno visual". Madrid: Alianza Editorial, Psicología y Educación. (2000).

Boyce, P.R. "Human factors in lighting, 2nd ed." . Londres: Taylor & Francis. (2003).

García-Gaite, G. "Iluminación y Seguridad laboral". Madrid: Fundación Mapfre. (2003).

Smith, N.A. "Lighting for occupational optometry". Leeds: H&H Scientific Consultants, 1999.

CIE-Comisión Internacional de Iluminación y Color: <http://www.cie.co.at>, Divisiones 2,3 y 5.

Simons, R.H. & Bean, A.R. "Lighting engineering: applied calculations". Oxford: Architectural Press. (2001).

Gibbons, R.B., Edwards, C.J. "A review of Disability and Discomfort glare research and future direction". 18th Biennial TRB Visibility Symposium. 2007.

Bullough, J.D. Spectral "Sensitivity for extrafoveal discomfort glare. Journal of Modern Optics". (2009).

Comité Español de Iluminación: <http://www.ceisp.com/>.

The Lighting Research & Technology: <http://lrt.sagepub.com/>.

Whitehead, R. "Commercial lighting: creating dynamic public space". London: Rockport. (1995).

Gordon, G. "Interior lighting for designers". Hoboken: John Wiley & Sons. (2003).

Cuttle, C. "Lightingbydesign". Oxford: ArchitecturalPress.(2003).

Carretero, Rosa M<sup>a</sup>. "La iluminación en los lugares de Trabajo". Ed.Instituto nacional de Seguridad e higiene en el Trabajo. (2000).

Hopkinson, R.G., Longmore, P.C., Craddock, J., "Glarediscomfortfrom Windows" . Fuente: 17 thsession of the CIE in Barcelona. (1971).

Voke, J.," Theageingeyeatwork" . Revista: The Safety & Health Practitioner, junio.( 1997).

Bankler-Jukes, "S., Time to get physiological" . Revista:The Safety & Health Practitioner.(2001).

Jimenez, C. "Manuales de luminotècnia. Locales" Ediciones CEAC. (1997).

Pritchard. D. C. "Lighting". LongmanGrouslimited. 5th Edition. (1996).

UrracaPiñeiro. J.I."Tratado de Alumbrado Público". Ed. Donostiarra. (1988).

ChapaCarreón. J. "Manual de instal·lacions de alumbrado y fotometria." EditiorialLimusa. (1990).

Aguilar Rico,M; Blanca Gimenez,V. "Iluminación y color". Servicio de Publicaciones de la UniversidadPolitécnica de Valencia. (1995).

Taboada, J.A. "Manual OSRAM sobre electricidad, luminotècnia y lámparas".